

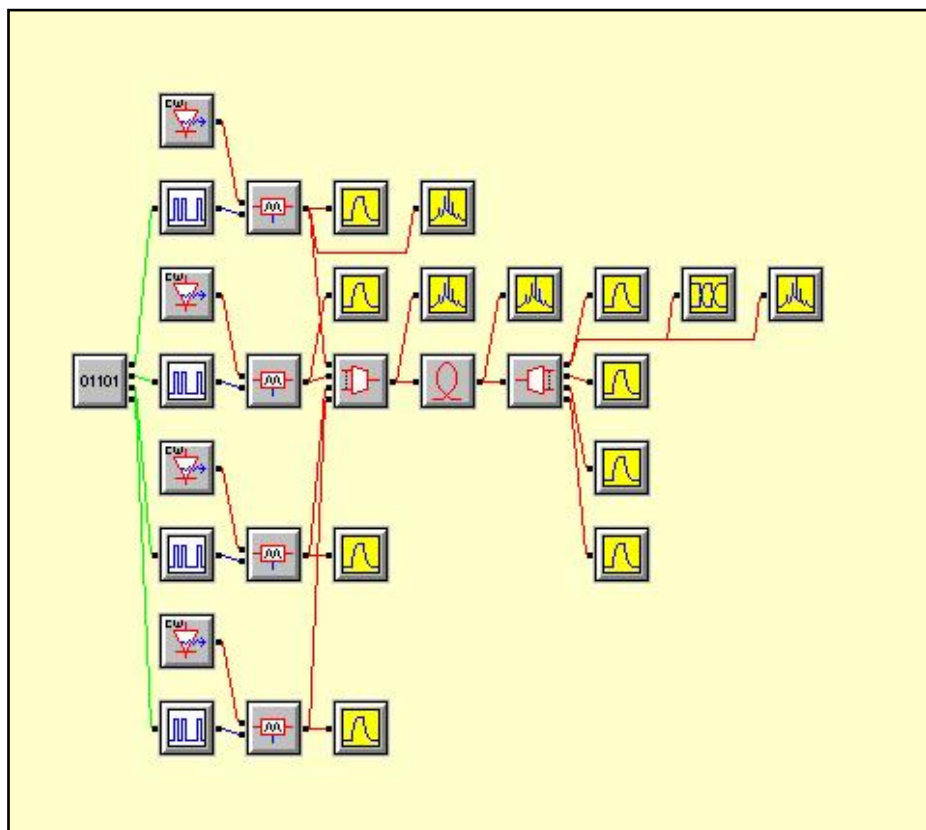


ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**ΜΑΘΗΜΑ:** ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ -  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ  
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “LINKSIM”

**ΥΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΥΒΡΙΑΔΗΣ





ΑΘΗΝΑ,  
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2004

## ΑΣΚΗΣΗ 1

---

Σκοπός της 1<sup>ης</sup> άσκησης είναι κυρίως η εξοικείωση του φοιτητή με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης οπτικών ζεύξεων **Linksim**. Επιπλέον η άσκηση αυτή μελετά μία απλή ζεύξη μεταξύ δύο σημείων, ενός πομπού και ενός δέκτη, με σκοπό την παρατήρηση των γνωστών θεμελιωδών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα υπό διάφορες συνθήκες.


### **Βασικά Βήματα για τη γρήγορη χρήση του προγράμματος**

1. Αρχικά επιλέγουμε τη νέα τοπολογία, ώστε να δημιουργηθεί το περιβάλλον όπου θα χτίσουμε τη δική μας τοπολογία: Επιλέγουμε “File” > “New”.
2. Κάθε αντικείμενο τοποθετείται στο περιβάλλον εργασίας επιλέγοντάς το μία φορά με το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού και μεταφέροντας το ποντίκι στο επιθυμητό σημείο του περιβάλλοντος.
3. Όλα τα αντικείμενα συνδέονται μεταξύ τους μέσω συνδέσεων που παρέχονται από το ειδικό αντικείμενο με εικονίδιο: 
4. Επιστροφή από οποιοδήποτε αντικείμενο, γίνεται με το εικονίδιο: 
5. Οι παράμετροι του κάθε αντικειμένου εμφανίζονται πατώντας το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στο αντικείμενο. Οι τιμές των παραμέτρων είναι κατά κανόνα στο σύστημα S.I.. Μετατροπή όπου χρειάζεται.


**Τοπολογία 1.1:** Εξέταση μίας οπτικής ζεύξης με τη χρήση πηγής laser άμεσης διαμόρφωσης.

### **Βασικά αντικείμενα – στοιχεία του προγράμματος**

#### *1. Γεννήτρια Ψευδοτυχαίας ακολουθίας bit*


- Η γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας είναι απαραίτητη για την παραγωγή μίας ακολουθίας bits, στην οποία οι «άσσοι» (1) θα εναλλάσσονται με τα «μηδενικά» (0) με τυχαίο τρόπο, όπως ακριβώς συμβαίνει συνήθως στην πραγματικότητα.
- Το LinkSim προσομοιώνει τη συγκεκριμένη συσκευή με το εικονίδιο 
- Σημαντικές παράμετροι είναι ο ρυθμός (bitRate) και το πλήθος των bit που καθορίζεται από το patternWidth ( $2^{\text{patternWidth}} = \text{πλήθος bits}$ )

#### *2. Γεννήτρια Ηλεκτρικών Σημάτων*


- Αυτό το αντικείμενο μετατρέπει το δυαδικό σήμα εξόδου της προηγούμενης βαθμίδας σε ηλεκτρικό σήμα. Το εικονίδιο της γεννήτριας είναι 
- Η γεννήτρια αυτή είναι απαραίτητη για να διαμορφώσει το laser, μεταβάλλοντας κατάλληλα την το ρεύμα εισόδου του, ώστε αυτό να παράγει τους επιθυμητούς παλμούς. Βασικές της παράμετροι είναι ο τύπος του μοντέλου για την παραγωγή του σήματος (driveType), ο χρόνος πτώσης και ανόδου (tf, tr, αντίστοιχα), η ισχύς κορυφής και ελαχίστου (Vpk, Vmin, αντίστοιχα). Η παράμετρος driveType μπορεί να λάβει τις παρακάτω τιμές:

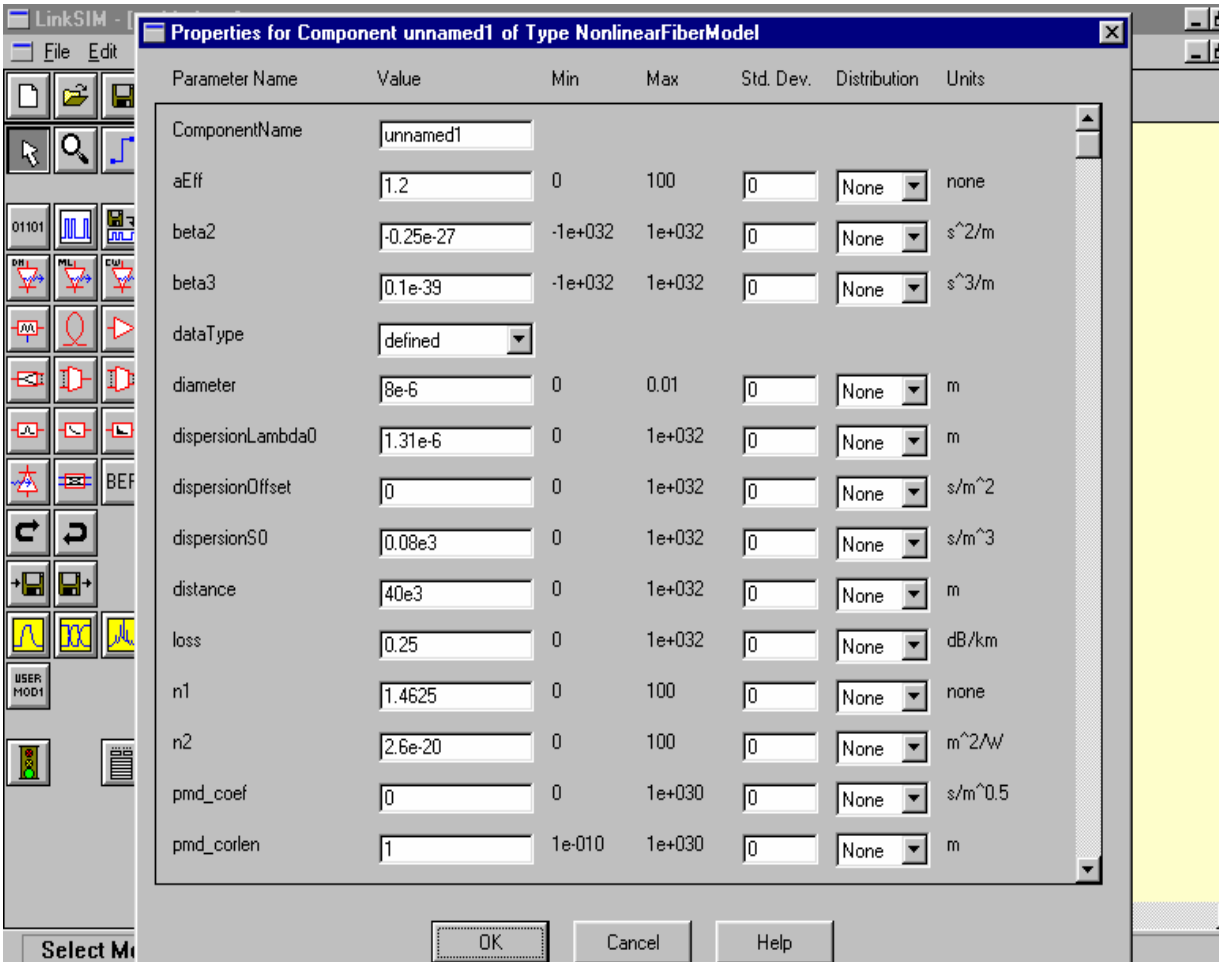
- *on\_off\_exp* : Παράγονται τετραγωνικοί παλμοί, οι οποίοι διοχετεύονται σε ένα ring filter
- *on\_off\_ramp* : Ένα ηλεκτρικό σήμα παράγεται έχοντας σαν χρόνους ανόδου και πτώσης αυτούς που έχουν καθορισθεί, το οποίο επίσης οδηγείται στο ring filter.
- *RaisedCosine* : Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται είναι ημιτονικό.

### 3. Laser Άμεσης Διαμόρφωσης

- Το laser άμεσης διαμόρφωσης δέχεται την ηλεκτρική παλμοσειρά που παράγει η προηγούμενη βαθμίδα και τη μετατρέπει σε οπτική παλμοσειρά, χωρίς τη χρήση κάποιου διαμορφωτή. Οι παλμοί που παράγονται με τον τρόπο αυτό (γεννήτρια ηλεκτρικού σήματος και laser άμεσης διαμόρφωσης) είναι της μορφής NRZ, δηλαδή δύο ή περισσότεροι διαδοχικοί «άσσοι» δεν επιστρέφουν στο μηδέν όταν έπεται «άσσος».
- Το laser άμεσης διαμόρφωσης παρίσταται με το εικονίδιο 
- Βασική παράμετρος που ενδιαφέρει στα πλαίσια της άσκησης είναι το μήκος κύματος εκπομπής (wavelength).

### 4. Οπτική ίνα

- Τον πομπό ακολουθεί το μέσο διάδοσης που είναι η οπτική ίνα. Η οπτική ίνα είναι στοιχείο με αρκετές παραμέτρους. Στον παρακάτω πίνακα βρίσκονται χαρακτηριστικές παράμετροι μίας οπτικής ίνας.
- Η οπτική ίνα παρίσταται με το εικονίδιο 
- Περιγραφή Βασικών Παραμέτρων




Parameter Name	Value	Min	Max	Std. Dev.	Distribution	Units
ComponentName	unnamed1					
aEff	1.2	0	100	0	None	none
beta2	-0.25e-27	-1e+032	1e+032	0	None	s <sup>2</sup> /m
beta3	0.1e-39	-1e+032	1e+032	0	None	s <sup>3</sup> /m
dataType	defined					
diameter	8e-6	0	0.01	0	None	m
dispersionLambda0	1.31e-6	0	1e+032	0	None	m
dispersionOffset	0	0	1e+032	0	None	s/m <sup>2</sup>
dispersionS0	0.08e3	0	1e+032	0	None	s/m <sup>3</sup>
distance	40e3	0	1e+032	0	None	m
loss	0.25	0	1e+032	0	None	dB/km
n1	1.4625	0	100	0	None	none
n2	2.6e-20	0	100	0	None	m <sup>2</sup> /W
pmd_coef	0	0	1e+030	0	None	s/m <sup>0.5</sup>
pmd_corlen	1	1e-010	1e+030	0	None	m


- distance: Το μήκος της οπτικής ίνας
- diameter: Διάμετρος του πυρήνα
- aEff: Ενεργός διατομή της ίνας ως προς τη διάμετρο του πυρήνα.
- loss: Απώλειες της ίνας
- beta2: Παράγοντας διασποράς ταχύτητας ομάδας 2<sup>ης</sup> τάξης
- beta3: Παράγοντας διασποράς ταχύτητας ομάδας 3<sup>ης</sup> τάξης
- dispersionLambda0: Μήκος κύματος μηδενικής διασποράς
- dispersionS0: Κλίση της γραμμής διασποράς με μήκος κύματος στο λ<sub>0</sub>.
- DispersionOffset: Η ολίσθηση της διασποράς στο λ<sub>0</sub>.
- pmd\_coef: Ο συντελεστής διασποράς τρόπων πόλωσης.

- Η διασπορά καθορίζεται από τη σχέση  $D(\lambda) = \frac{\lambda S_0}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^4 \right] + D_0$  αν η επιλογή “Dispersion Data Type” έχει τεθεί στο “defined”. Αντίθετα χρησιμοποιεί τις τιμές του χρήστη b2 και b3 αν “Dispersion Data Type” έχει τεθεί στο “custom”.

#### 5. Δέκτης




- Μετά τη διάδοση στην οπτική ίνα το οπτικό σήμα εισέρχεται στο δέκτη, με σκοπό τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικό σήμα. Αν και οι παράμετροι του δέκτη είναι πολλές και ιδιαίτερα σημαντικές, στα πλαίσια της πρώτης άσκησης δε θα μας απασχολήσει.
- Ο δέκτης παρίσταται με το εικονίδιο 

#### 6. Μετρητής BER (Bit Error Rate - ρυθμός λαθών bits)

- Είναι το αντικείμενο που χρησιμοποιείται για την εύρεση του ρυθμού λανθασμένων bits. Δέχεται δύο σήματα στην είσοδο. Αφενός το ηλεκτρικό σήμα του δέκτη και αφετέρου το σήμα της γεννήτριας PRBS, ώστε να συγχρονίσει τα δύο σήματα και να βρει τα πιθανά σφάλματα. Βασικές παράμετροι του μετρητή είναι το όνομα του αρχείου, στο οποίο θα αποθηκευτεί το διάγραμμα του BER σε σχέση με τη μεταβλητή που αυτό μετράται.
- Ο μετρητής BER παρίσταται με το εικονίδιο 

#### **Επιπλέον αντικείμενα - στοιχεία**

Για την παρακολούθηση του σήματος κατά μήκος της ζεύξης υπάρχουν τα αντικείμενα διαγραμμάτων, τα οποία είναι:

- Παλμογράφος, για την απεικόνιση της κυματομορφής σήματος στο χρόνο 
- Φασματικός αναλυτής για την απεικόνιση του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων 
- Παλμογράφος για απεικόνιση του διαγράμματος οφθαλμού 

Τα συγκεκριμένα αντικείμενα μπορούν να παρεμβληθούν οπουδήποτε κατά μήκος της ζεύξης, συνδέοντας την είσοδο τους με την έξοδο οποιουδήποτε άλλου αντικειμένου. Σημαντική παράμετρος είναι τα ονόματα των αρχείων, τα οποία πρέπει να γράφονται, ειδάλτως όλα τα διαγράμματα θα αποθηκευτούν με το ίδιο όνομα με αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικών πληροφοριών.


### Παράμετροι προσομοίωσης:

Αφού σχεδιάσετε την άσκηση στο LinkSim μπορείτε να εκτελέσετε μία φορά την προσομοίωση της τοπολογίας και να δείτε τα κατάλληλα διαγράμματα σήματος, φάσματος και οφθαλμού στην έξοδο του πομπού, στην είσοδο του δέκτη και στην έξοδο του δέκτη. Αργότερα μεταβάλλετε κάποιες παραμέτρους, όπως την τάση κορυφής στη γεννήτρια ηλεκτρικών σημάτων (2, 4, 5V), την απόσταση διάδοσης (20Km, 40Km, 80Km), την τιμή της διασποράς  $\beta_2$  για το custom (-2,5ps<sup>2</sup>/Km, -10ps<sup>2</sup>/Km, -15ps<sup>2</sup>/Km), την τιμή του μήκους κύματος μηδενικής διασποράς (1,3μm για SMF, 1,55μm για DSF) για το defined, το ρυθμό εκπομπής (560Mbps, 2Gbps, 10Gbps, 15Gbps).


### Τοπολογία 1.2: Εξέταση μίας οπτικής ζεύξης με τη χρήση πηγής mode-locked laser.

Η τοπολογία αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη και επιπλέον μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε παλμούς RZ. Στους παλμούς αυτούς δύο ή περισσότεροι διαδοχικοί «άσσοι» επιστρέφουν στην ισχύ του μηδενός ακόμα κι αν έπεται «άσσος». Παραδείγματα αποτελούν οι παλμοί Gaussian, ή τα σολιτόνια. Τη δυνατότητα παραγωγής και διάδοσης RZ παλμών μας τη δίνει η πηγή mode-locked laser. Η διαμόρφωση της πηγής αυτής επιτυγχάνεται με το συνδυασμό του σήματος αυτής και του σήματος της ηλεκτρικής γεννήτριας. Τα δύο ξεχωριστά σήματα οδηγούνται στις εισόδους ενός εξωτερικού διαμορφωτή Mach-Zender. Ας δούμε τις βασικές παραμέτρους των νέων επιμέρους στοιχείων.

#### 1. Mode-Locked Laser

- Η πηγή Mode-Locked Laser παρίσταται με το εικονίδιο 
- Το laser αυτό έχει τον παρακάτω πίνακα παραμέτρων
  - type: gaussian, supGaussian, sech, on\_off, raisedCosAmp, raisedCosPow
  - repRate: Ρυθμός εκπομπής παλμών της πηγής (πρέπει να είναι ίδιος με αυτόν της PRBS).
  - patternWidth: Ίδιο με αυτό της γεννήτριας PRBS
  - peakPower: Ισχύς κορυφής
  - wavelength: Μήκος κύματος εκπομπής του laser
  - width: FWHM (Εύρος μισής ισχύος)
  - ChirpFactor: Παράγοντας chirp
  - phaseShift: Η διαφορά φάσης μεταξύ των διαδοχικών παλμών
  - pattern: Ένας παλμός ή σειρά παλμών
  - riseTime: Χρόνος ανόδου του παλμού για SupGaussian και on-off
  - fallTime: Χρόνος πτώσης του παλμού για SupGaussian και on-off

#### 2. Διαμορφωτής

- Ο διαμορφωτής παρίσταται με το εικονίδιο 

### Παράμετροι προσομοίωσης:

Διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα στοιχεία ίδια μπορείτε να σχεδιάσετε τη νέα τοπολογία και να μεταβάλλετε κάποιες παραμέτρους όπως την ισχύ εκπομπής του laser (1mW, 2mW, 4mW), το εύρος των παλμών (20ps, 10ps, 5ps), την απόσταση διάδοσης (20Km, 40Km, 80Km), την τιμή της διασποράς  $\beta_2$  για το custom (-2,5ps<sup>2</sup>/Km, -10ps<sup>2</sup>/Km, -15ps<sup>2</sup>/Km), την τιμή του μήκους κύματος μηδενικής διασποράς (1,3μm για SMF, 1,55μm για DSF) για το defined και το ρυθμό εκπομπής (560Mbps, 2Gbps, 10Gbps, 15Gbps).

## ΑΣΚΗΣΗ 2


Σκοπός της 2<sup>ης</sup> άσκησης είναι η εξαγωγή παρατηρήσεων και συμπερασμάτων, όσον αφορά τη χρησιμότητα ορισμένων δομικών στοιχείων μίας οπτικής ζεύξης, όπως είναι οι ενισχυτές, τα φίλτρα. Επιπλέον το ζητούμενο είναι η μελέτη με τη βοήθεια προσομοιώσεων ορισμένων τεχνικών διαχείρισης της χρωματικής διασποράς, η οποία αποτελεί ένα μπελά για τις οπτικές επικοινωνίες.

### 2.Α Οπτικοί Ενισχυτές και Οπτικά Φίλτρα


**Τοπολογία 2.1:** Χρήση οπτικών ενισχυτών και φίλτρων σε οπτική ζεύξη με πηγή laser άμεσης διαμόρφωσης.

Τα νέα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι οπτικοί ενισχυτές και τα οπτικά φίλτρα.

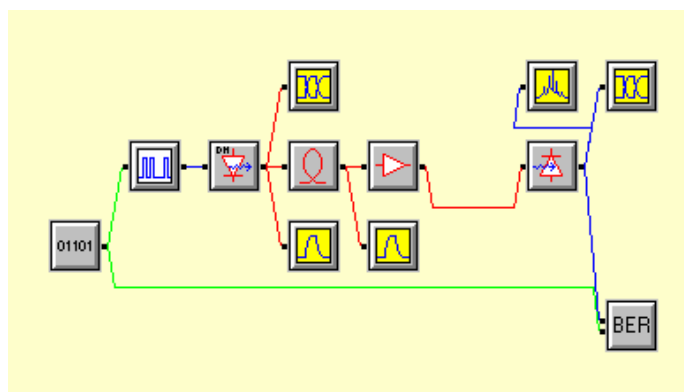
#### 1. Οπτικός Ενισχυτής

- Ο οπτικός ενισχυτής παρίσταται με το εικονίδιο 
- Το αντικείμενο αυτό έχει σαν βασικές παραμέτρους:
  - Gain: Απολαβή του ενισχυτή (dB)
  - Psat: Ισχύς κόρου του ενισχυτή (dBm)
  - Fn: Εικόνα θορύβου του ενισχυτή (dB)
  - BW: Το εύρος ζώνης (BandWidth) του ενισχυτή (m)

#### 2. Οπτικό φίλτρο

- Το οπτικό φίλτρο παρίσταται με το εικονίδιο 
- Το αντικείμενο αυτό έχει σαν βασικές παραμέτρους:
  - Type: Τύπος του φίλτρου (ιδανικό ή Fabry-Perot)
  - Wavelength: Κεντρικό μήκος κύματος (m)
  - BW: Εύρος ζώνης του ζωνοπερατού φίλτρου (m)
  - Reflectivity: Ανακλαστικότητα του φίλτρου
  - Loss: Απώλειες που εισάγονται από το φίλτρο (dB)

Η πιο απλή τοπολογία χρήσης οπτικού ενισχυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



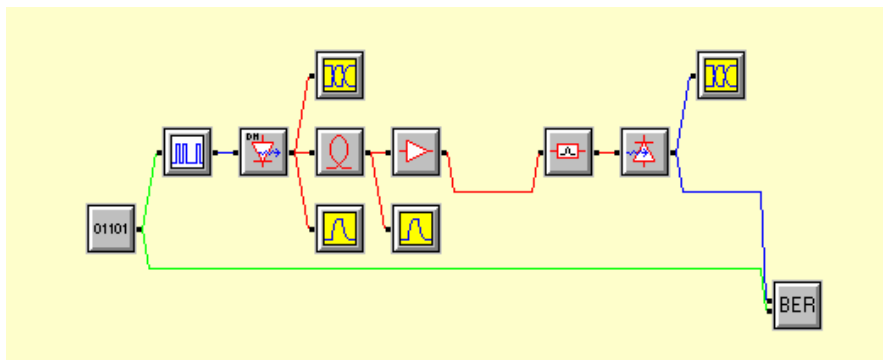
Η παραπάνω τοπολογία αποτελεί μία σημείο προς σημείο ζεύξη. Μετά την πηγή, η οποία εκπέμπει στα 1550nm, τοποθετείται ένα τμήμα οπτικής ίνας με μήκος 100km, διασπορά  $\beta_2 = -20\text{ps}^2/\text{Km}$  και απώλειες  $\alpha = 0,2\text{dB/Km}$ . Είναι χρήσιμο να εκτελεστεί μία προσομοίωση αρχικά χωρίς τον ενισχυτή. Μετά τη λήψη των μετρήσεων για το ρυθμό λαθών (BER) και το διάγραμμα οφθαλμού να γίνουν κάποιες προσομοιώσεις με τη χρήση ενισχυτή.

**Παράμετροι προσομοίωσης:**

Οι παράμετροι με τις οποίες θα πειραματιστούμε στην προσομοίωση είναι η απολαβή του ενισχυτή και η ισχύς κόρου του. Να δοκιμάσετε μερικές τιμές για την απολαβή (5dB, 10dB, 20dB, 30dB) και μερικές τιμές για την ισχύ κόρου (-5dBm, 0dBm, 3dBm).

Επίσης να δοκιμάσετε να εισάγετε τον ενισχυτή αμέσως μετά τον πομπό ρυθμίζοντας τις ίδιες παραμέτρους. Σε ποια περίπτωση τα αποτελέσματα είναι καλύτερα; Να δικαιολογήσετε την άποψη σας.

Αφού τελειώσετε με τις παραπάνω προσομοιώσεις, τοποθετείστε στην περίπτωση της ενίσχυσης στο δέκτη ένα οπτικό φίλτρο, όπως στο παρακάτω σχήμα.

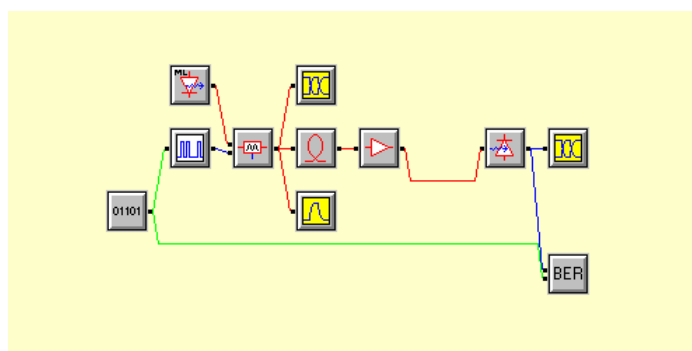


Από τις παραμέτρους του φίλτρου εμείς θα ρυθμίσουμε το κεντρικό μήκος κύματος και το εύρος ζώνης του. Τοποθετείστε αρχικά ένα φίλτρο με εύρος ζώνης διέλευσης 0.1nm και κεντρικό μήκος κύματος ίσο με 1550nm, όπως άλλωστε είναι της πηγής. Το φίλτρο μας τοποθετείται στο δέκτη, ώστε να απομακρύνει το θόρυβο που προστέθηκε στον ενισχυτή και για να αναδείξει τη φασματική περιοχή που το σήμα μας βρίσκεται. Παρατηρείστε τις τιμές του BER και τα προκύπτοντα διαγράμματα οφθαλμού για κάθε περίπτωση απολαβής και ισχύος κόρου και να επισημάνετε τις διαφορές μετά την είσοδο του φίλτρου. Πριν εξάγετε οποιοδήποτε συμπέρασμα πρέπει να έχετε υπόψη σας ότι οι άμεσες διαμόρφωσης πηγές εισάγουν μεγάλο chirp (τρεμόπαιγμα συχνότητας), οπότε το φίλτρο σας δεν είναι απόλυτα προσαρμοσμένο με το σήμα. Για να δείτε προσαρμογή πρέπει να ρυθμίσετε με το κεντρικό μήκος κύματος του φίλτρου, ενώ καλό θα ήταν να πειραματιστείτε και με το εύρος ζώνης για καλύτερα αποτελέσματα.

**Τοπολογία 2.2:** Χρήση οπτικών ενισχυτών και φίλτρων σε οπτική ζεύξη με πηγή Mode Locked Laser.

Στην περίπτωση της χρήσης πηγής mode-locked θα μελετήσουμε τη χρήση του ενισχυτή και του φίλτρου, προσπαθώντας να απαντήσουμε σε διάφορα ερωτήματα για το πως συμπεριφέρονται οι παλμοί RZ και NRZ στις διάφορες περιπτώσεις εισαγωγής ενισχυτή και φίλτρου.

Η τοπολογία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

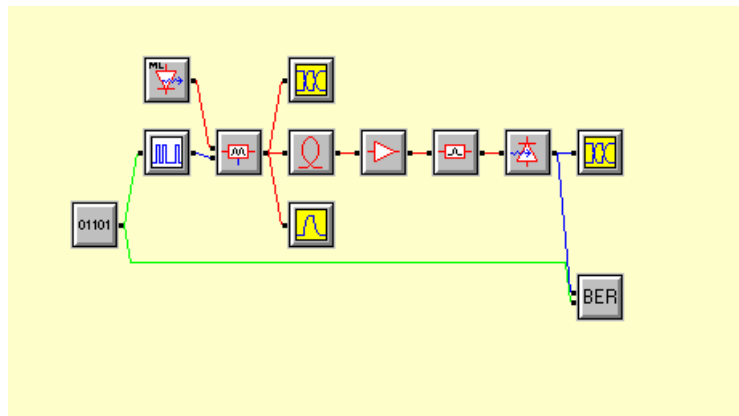


Όπως και στην περίπτωση της άμεσης διαμόρφωσης, θα πρέπει να κάνουμε υπολογισμούς του BER και να παρατηρήσουμε τα εξαγόμενα διαγράμματα οφθαλμού για τις εξής περιπτώσεις:

1. Διάδοση παλμών Gaussian εύρους 20ps, ισχύος 4mW και μήκους κύματος 1550nm για 100Km με διασπορά  $\beta_2 = -20\text{ps}^2/\text{Km}$  και απώλειες  $\alpha = 0,2\text{dB/Km}$  χωρίς ενίσχυση.
2. Διάδοση των παραπάνω παλμών με χρήση οπτικού ενισχυτή στο δέκτη (Οι τιμές της απολαβής και της ισχύος κόρου που θα δοκιμαστούν είναι ίδιες μ' αυτές της τοπολογίας 2.1)
3. Διάδοση των παραπάνω παλμών με χρήση οπτικού ενισχυτή στον πομπό.

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις να εξάγετε συμπεράσματα όσον αφορά τα αποτελέσματα που πήρατε στο ρυθμό λαθών και στα διαγράμματα οφθαλμού.

Μόλις τελειώσετε τα παραπάνω, τοποθετείστε πριν από το δέκτη ένα οπτικό φίλτρο με αρχικές παραμέτρους ίδιες μ' αυτές της προηγούμενης τοπολογίας. Η επίδραση του φίλτρου ήταν καταστροφική ή ωφέλιμη το σήμα; Στην απάντησή σας θα σας βοηθήσει ότι οι παλμοί RZ δεν εμφανίζουν ιδιαίτερο chirp όπως οι NRZ. Η τοπολογία αυτή εικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

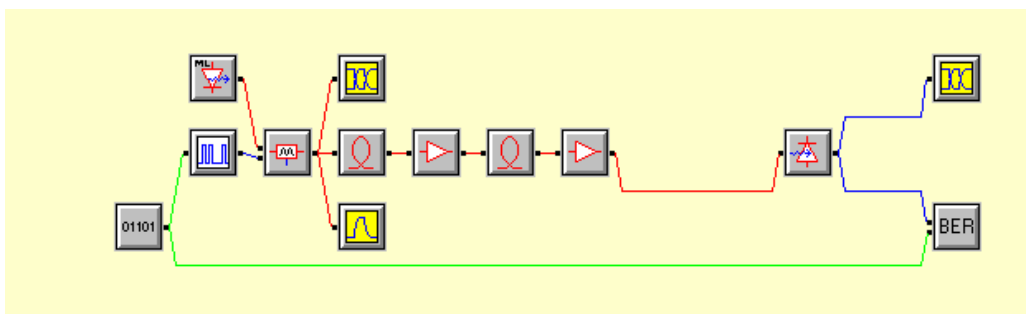


Δοκιμάστε να μεταβάλετε το κεντρικό μήκος κύματος του φίλτρου, καθώς και το εύρος ζώνης του για τυχόν βελτιστοποίηση και καλύτερη προσαρμογή.

## 2.B Τεχνικές Διαχείρισης Διασποράς

**Τοπολογία 2.3:** Χρήση οπτικών ενισχυτών και διαχείρισης διασποράς σε οπτική ζεύξη με πηγή mode-locked laser.

Η διαχείριση διασποράς αποτελεί μία τεχνική για την εξουδετέρωση της χρωματικής διασποράς, η οποία λειτουργεί καταστροφικά κατά τη διάδοση ενός οπτικού παλμού, ιδιαίτερα αν αυτός είναι RZ (γιατί;). Ο πιο εύκολος τρόπος είναι ο συνδυασμός δύο τμημάτων οπτικής ίνας με ίδιο μήκος και αντίθετες διασπορές. Στη διάταξη αυτή το δεύτερο τμήμα της ίνας θα εισάγει διασπορά η οποία αναιρεί την επίδραση της διασποράς του πρώτου τμήματος. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται αυτή η τοπολογία.





Τα δύο τμήματα οπτικής ίνας έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

*Τμήμα 1:*  $\beta_2 = -20\text{ps}^2/\text{km}$ ,  $\alpha = 0,2\text{dB/Km}$ ,  $L = 100\text{Km}$ .

*Τμήμα 2:*  $\beta_2 = 20\text{ps}^2/\text{km}$ ,  $\alpha = 0,2\text{dB/Km}$ ,  $L = 100\text{Km}$ .

Οι δύο οπτικοί ενισχυτές έχουν απολαβή ίση με τις συνολικές απώλειες του κάθε τμήματος ( $\alpha L = 8\text{dB}$ ). Παρατηρείστε τα αποτελέσματα για το ρυθμό λαθών και τα εξαγόμενα διαγράμματα οφθαλμού. Σίγουρα θα εκπλαγείτε με τη βελτίωση των αποτελεσμάτων.

## **ΘΕΜΑΤΑ – ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗ**

---

### **ΑΣΚΗΣΗ 1:**

1. Να εξετάσετε την επίδραση της απόστασης διάδοσης (μήκος της ίνας) στο ρυθμό σφαλμάτων (BER) της πληροφορίας, για την περίπτωση RZ και NRZ παλμών.
2. Να εξετάσετε την επίδραση της διασποράς (συντελεστής διασποράς  $\beta_2$ ) στην μορφή και στο ρυθμό σφαλμάτων (BER) της πληροφορίας, για την περίπτωση RZ και NRZ παλμών. Ποια μορφή παλμών επηρεάζεται περισσότερο. Δικαιολογείστε την απάντησή σας. Πως μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα της πληροφορίας;

### **ΑΣΚΗΣΗ 2:**

1. Να εξηγήσετε την επίδραση της τιμής απολαβής του οπτικού ενισχυτή στην ποιότητα του σήματος. Ποιος είναι ο ρόλος της τιμής της απολαβής κόρου ενός οπτικού ενισχυτή και σε ποιες εφαρμογές γίνεται μέγιστη η επίδραση της;
2. Ποια η επίδραση της παρουσίας ενός φίλτρου μετά τον οπτικό ενισχυτή; Υποδείξτε τον ρόλο του φίλτρου με διαγράμματα του σήματος στο χρόνο (διάγραμμα οφθαλμού) και στο χώρο των συχνοτήτων (φάσμα). Ποιες είναι οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την επίδοση του φίλτρου;

**Σημείωση:** Οι παρατηρήσεις και οι απαντήσεις σας θα πρέπει να δικαιολογούνται με βάση αποτελέσματα προσομοιώσεων που θα εκτελέσετε. Απαραίτητα θεωρούνται διαγράμματα που θα επιδεικνύουν και θα ενισχύουν τις παρατηρήσεις σας.